

化學工廠耐蝕合金選用通論

蘇俊吉* 論述

一、前言

化學工廠由於物理、化學變數甚多，因此在材料選用上也相對複雜。材料選用即適材適用，避開材料在環境中的弱點，並在經濟的原則下，充份利用材料的特性。一般而言，耐蝕材料選用步驟主要為(一)使用環境的調查(二)適用該環境之耐蝕材料調查(三)機械性質及加工性評估(四)經濟性評估。耐蝕材料的調查可從規範 (ASTM/ASME等)，學會組織累積經驗及技術資料 (NACE, API 和 EPRI)，文獻和廠商資料中獲得，唯材料種類繁多，吾人應先對材料基本腐蝕特性作一認識，才能掌握方向，不致大海撈針，事倍功半。在本文中將謹就化學工廠常見的強酸、強鹼和濃鹽環境中之耐蝕材料的選用及特性作一整體介紹，冀望各界不吝指正。

二、本文

1. 耐蝕合金介紹

(1) 不銹鋼

不銹鋼之所以“不銹”，主要是添加12%以鉻元素在合金中，使得合金表面形成一層緻密氧化層，大大降低合金在大氣及純水中的腐蝕速率，但這並不代表不會有其它腐蝕發生。不銹鋼在含氯離子環境中易引發孔蝕及應力腐蝕現象，添加鉬及矽元素可加強氧化膜的保護力，增加抗高溫氧化及孔蝕能力；添加鎳、鉬、銅可抗非氧化性環境侵蝕，例如硫酸、磷酸、醋酸之腐蝕；添加鈦、鈦等元素或降低碳含量則有助於改善晶界腐蝕現象。不銹鋼中主要合金元素添加之作用如表1。

以金相組織分類，不銹鋼分為沃斯田鐵系、

表1 合金元素在不銹鋼中的主要功能

合金元素	功 能
鉻	<ul style="list-style-type: none"> 產生保護性態膜 耐高溫氧化
鎳	<ul style="list-style-type: none"> 穩定沃斯田鐵，使不銹鋼具有適當加工性 增強鈍態膜在還原性環境中的耐蝕性
錳	<ul style="list-style-type: none"> 部份取代鎳的功能以減少鎳的使用量 錳和硫形成的化合物對不銹鋼之性能有害
鉬	<ul style="list-style-type: none"> 協助鉻穩定鈍態膜 在含氯離子環境中增強不銹鋼的抗孔蝕與間隙腐蝕能力。 抗潛變性
氮	<ul style="list-style-type: none"> 阻止鉻及鉬元素的偏析現象以提高抗蝕能力 增大沃斯田鐵不銹鋼的強度 對肥粒鐵不銹鋼的機械性質不利
鈦、鈦	<ul style="list-style-type: none"> 形成穩定的碳化物，防止碳化鉻析出造成之敏化現象與晶粒間腐蝕。
硫、矽	<ul style="list-style-type: none"> 增加不銹鋼的切削加工性
碳	<ul style="list-style-type: none"> 使不銹鋼具有淬火硬化與熱處理性能 與鉻反應，對不銹鋼耐蝕性不利
銅	<ul style="list-style-type: none"> 達到析出硬化效果 增加在非氧化性酸液中的耐蝕性例如硫酸、醋酸、磷酸環境中
矽	<ul style="list-style-type: none"> 可形成保護性氧化層，使合金具耐高溫氧化 有助於 σ 相形成，使合金脆化

肥粒鐵系、麻田散鐵系和析出硬化型四種，主要特性及用途如表2所示；另外還有一種鑄造不銹鋼，即所謂雙相不銹鋼，如表3所示，所謂雙相

* 工業材料研究所研究員

表2 不銹鋼分類

材 料	AISI分類	化學成份 (wt%)	特 性	主 要 用 途
沃斯田鐵不銹鋼	200系列 (鉻-鎳-錳系)	碳 \leq 0.15 鉻16-19 鎳1-6 錳5.6-15.5	<ul style="list-style-type: none"> • 錳代替鎳、價格便宜 • 容易加工 • 非磁性 • 僅能施以冷加工硬化 	器具、工業家庭用
	300系列 (鉻-鎳-系)	碳 \leq 0.15 鉻15-30 鎳6-22	<ul style="list-style-type: none"> • 加工容易 • 對孔蝕及間隙腐蝕的對抗較強 • 較容易發生敏化現象、晶粒間腐蝕及應力腐蝕 • 僅能冷加工硬化 	<ul style="list-style-type: none"> • 大氣環境、食品工業 • 化工廠 • 中、高腐蝕性環境
肥粒鐵不銹鋼	400系列 (鉻系)	碳 $<$ 0.25 鉻11~23	<ul style="list-style-type: none"> • 對氯離子引發的應力腐蝕具免疫力或較高抵抗力 • 延住一韌性轉變較明顯韌性較差 • 耐孔蝕及間隙腐蝕能力較差 • 不能硬化 	<ul style="list-style-type: none"> • 中等腐蝕性環境 • 裝飾品、大氣環境 • 食品工業 • 熱交換器、鍋爐等
麻田散鐵不銹鋼	400系列 (鉻系)	碳0.15~1.2 鉻11~18	<ul style="list-style-type: none"> • 可淬火硬化 • 高強度 • 耐蝕性稍差 	<ul style="list-style-type: none"> • 工具材料 • 機械零件 • 螺絲、螺帽等
析出硬化型不銹鋼	600系列 (鉻-鎳-系) 簡稱PH不銹鋼	碳 \leq 0.09 鉻11-18 鎳3-9.5	<ul style="list-style-type: none"> • 添加鋁或銅，達到析出硬化效果 • 耐蝕性與300系列相等 • 在高溫環境中會因過度時效(Overaging)而減低其硬化特性 	<ul style="list-style-type: none"> • 軸類、齒輪 • 輪機零件 • 閘片

就是沃斯田鐵相及肥粒鐵相互混合，肥粒鐵可以有效阻擋裂縫在材料中的延續生長，對抵抗低應力狀態的應力腐蝕有明顯效果，高應力效果較不明顯。新發展的雙相不銹鋼添加0.08~0.35%的氮元素可阻止焊接後鉻和鉬的偏析現象，提高其耐蝕性，不銹鋼在某些特定溫度範圍內會發生脆化現象，例如含鉻15%以上之合金的肥粒鐵不銹鋼在400~500°C (475°C最顯著)長時間使用，韌性會大幅降低，沃斯田鐵及肥粒鐵不銹鋼在500~850°C會生成脆性的 σ 相(FeCr)，而後者比前者更易發生。

(2) 鎳及鎳基合金

鈹鎳對鹼性(除氨及氨鹽外)或鹵族元素造成之腐蝕有很好的耐蝕性，添加Cr, Mo及W後，其耐蝕性將比不銹鋼更優異，鎳基合金另外一個重要特色即其有良好的高溫性質，但不耐硫的

侵蝕，主要原因有二(一)在640°C附近易形成低熔點的硫化鎳(二)硫離子會破壞其氧化膜，鎳基合金主要分類及用途，如表4所示，合金元素添加之作用，如表5所示。

(3) 鋁及鋁合金

鋁的特點是重量很輕，導熱度、導電度和耐蝕性良好又富延展性。鋁在空氣或純水中很難生銹，主要是表面生成一層緻密氧化鋁，鋁除了在氨溶液中外，對鹼性水溶液的耐蝕性很低。鋁的純度愈高，耐蝕性愈佳，不純物銅、鎳、銀和鐵對耐蝕性有害，而鎂及錳影響不大，但合金元素添加有助於改善其強度，因此有時要兼具耐蝕及強度的功能，設計者常選用“Alclad”，即在鋁合金外層接合一層薄的純鋁，另外也可藉陽極處理來增加鋁的耐蝕及耐磨耗性，鋁的氧化膜在PH 4.5~8.5時最穩定，如圖1所示，強酸均會破

表3 雙相不銹鋼⁽¹⁾

鑄造	鍛造	化學組成 (wt%)		
		鉻	鎳	其他
CA-15 ⁽¹⁾	410	11.5 to 14	1 maximum	
CA-40 ⁽¹⁾	420	11.5 to 14	1 maximum	
CC-50 ⁽¹⁾	446	26 to 36	4 maximum	
CF-8 ⁽¹⁾	304	18 to 21	8 to 11	
CF-8 ⁽¹⁾ M	316	18 to 21	9 to 12	Mo 2.2 to 3
CF-20 ⁽¹⁾	302	18 to 21	8 to 11	
CF-8 ⁽¹⁾ C	347	18 to 21	9 to 12	Co (8 x C) minimum (1.0) maximum
CF-16 ⁽¹⁾ F	303	18 to 21	9 to 12	Mo 1.5 maximum Se 0.20 to 0.35
CD-4 M Cu	—	25 to 27	4.72 to 6	2 Mo, 3Cu
CH-20 ⁽¹⁾	309	22 to 26	12 to 15	
CK-20 ⁽¹⁾	310	13 to 27	19 to 22	
CN-7 ⁽¹⁾ M	Alloy 20	18 to 22	21 to 31	varying amounts of Si, Mo, and copper depending on producer
HC	446	26 to 30	4 maximum	0.50 C
HF	302	19 to 23	9 to 12	0.20 to 0.40 C
HH	309	24 to 28	11 to 14	0.20 to 0.50 C
HK	310	24 to 28	14 to 18	0.20 maximum N 0.20 to 0.60 C

(1)數字代表碳含量15代表0.15碳含量

壞此氧化層，但濃硝酸例外，如圖2所示。鋁合金也常用來製作裝有機酸之容器，例如醋酸。常見之鋁合金及用途如表6所示，鋁合金可分為(-)熱處理型合金(2×××, 6×××, 7×××)

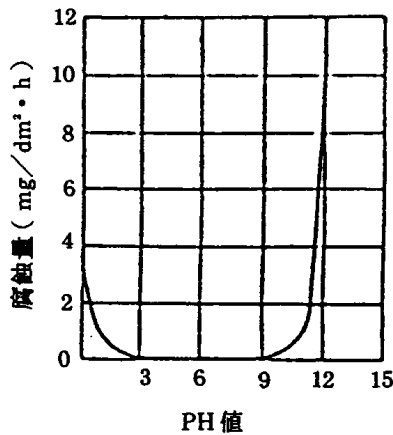


圖1 鋁腐蝕和PH值關係

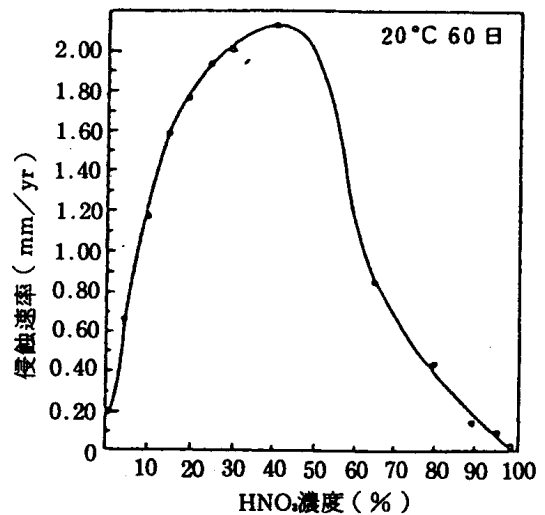


圖2 99.5% Al對硝酸之耐蝕性
(神戶製鋼，技術資料)

表4 主要鎳合金之分類參考表

分類	常用合金之名稱	主要成份(%)	特性與用途
鎳-銅	Monel 400 (莫鎳 400)	31.5	<ul style="list-style-type: none"> • 兼具銅的抗氧化性與鎳的抗還原性 • 用於海水，製鹽或熱交換器設備
鎳-鉻-鐵	<ul style="list-style-type: none"> • Inconel 600 (英高鎳600) • Inconel 825 (英高鎳825) 	鉻14~17 鐵6~10 鎳38~46 鎳19.5~23.5	<ul style="list-style-type: none"> • 耐氯離子之應力腐蝕 • 耐鹼性腐蝕 • 耐海水，一般氧化性或還原性酸液 • 大量使用於核能電廠之蒸汽產生器
鎳-鉬	Hastelloy B (赫斯特合金 B)	鉬26~30	<ul style="list-style-type: none"> • 耐鹽酸、硫酸磷酸及醋酸 • 微量的氧化性鐵離子即可加速其腐蝕
鎳-鉻-鉬-鎢	Hastelloy C (赫斯特合金 C)	鉻14.5~16.5 鐵15~17 鎳3.0~4.5 鉻14.5~16.5	<ul style="list-style-type: none"> • 對氧化性，還原性雙方之酸、鹼類有很好的耐蝕性
鎳-鉻-鐵-鉬	Hastelloy G (赫金斯合金 G)	鉻21~23 鐵21~23 鉬5.5~7.5	<ul style="list-style-type: none"> • 添加鉬，具安定碳化物作用，耐粒界腐蝕 • 對熱磷酸耐蝕極高 • 耐孔蝕、應力腐蝕
鎳	200	C: 0.08 Ni: 99	<ul style="list-style-type: none"> • 耐鹼，不適用於強氧化性環境 • 應用在鹼蒸發器，氯化反應器處理氯氣、氯化氫設備
鎳	201	C: 0.01 Ni: 99	<ul style="list-style-type: none"> • 耐鹼特別是溫度高於316°C • 低碳避免石墨析出

表5 合金元素在鎳基合金中之主要功能

合金元素	主要功能
銅	• 提高在非氧化性酸液中的耐蝕性
鉻	• 提高在氧化性酸液中的耐蝕性
鐵	<ul style="list-style-type: none"> • 減低成本 • 增大碳的溶解度以提高在高溫中的抗碳化能力
鉬	<ul style="list-style-type: none"> • 提高在非氧化性酸液中的耐蝕性 • 提高抗孔蝕及間隙腐蝕能力
鎢	• 提高抗局部腐蝕能力
矽	• 提高抗高溫氧化能力
鈮、鉬	• 穩定碳化物以避免粒界腐蝕
鈷	<ul style="list-style-type: none"> • 耐蝕特性與鎳相似 • 提高碳的溶解度與抗碳化能力 • 提高在高溫含硫環境中的耐蝕性

：即可析出硬化處理(□)非熱處理型合金(1×××, 3×××, 4×××, 5×××)僅能藉固溶，散佈及加工硬化。

(4)銅及銅合金

常用的銅及銅合金如表7所示，由於其延展性佳，鍛造銅也易加工成型，鑄造銅其鑄造性良好，另外除了高矽鋅青銅外銅合金焊接是非常複雜的，主要是銅具高熱導性，在銅中添加20%以下鋅稱為紅銅(Red-Brass)，20~40%鋅稱為黃銅(Yellow Brass)，這些銅合金在酸性溶液中易發生脫鋅現象，但可添加磷、砷、鋁來降低脫鋅腐蝕；添加錫元素即為青銅(Bronze)，其耐蝕性較黃銅為佳。銅鎳合金在海水中明顯耐蝕性，常用來對抗海生物腐蝕，但銅合金不耐汞、氨、氧化性鹽類腐蝕。

表 6 鋁合金分類及用途⁽²⁾

合金元素 (wt%) 合金編號	錳	鎂	鉻	銅	矽	鋁	用 途
1060						99.6	化學設備，槽車 H ₂ O ₂ 貯槽
1100						99	醋酸槽，pump
3003	1.2					bal.	和 AA 1100 耐蝕性類似但強度較高，常用作槽，熱交換器的材料
5052		2.5	0.25			bal.	應用在高強度設備 (28-46ksi)，例如壓力槽，化學車本體
5083	0.7	4.5				bal.	同上，但不能在 150°F 以上加工硬化，否則易發生 SCC
6061	1		0.25		0.5	bal.	結構用
355		0.5		1.3	5	bal.	鑄造品，有高的機械強度 (25-39ksi)，耐蝕力和鍛造件類似，可應用在海水，輪船等
356		0.3			7	bal.	同上

表 7 銅及銅合金的分類⁽²⁾

銅發展 協會編號	名稱	銅	鋅	錫 (wt%)	鎳	其他	用 途
122	Phosphorous Deoxidized Copper	99.9 minmum				P-0.015 to 0.040	水、氣體、汽油管線熱交換管
230	Red Brass	85	15				熱交換管，可撓性管
270	Yellow Brass	65	35				彈簧、水管接頭
443	Admirally Brass	71	28	1			冷凝器、熱交換器、蒸餾管
465	Naval Brass	60	39	1			汽機用品，接頭、閥螺絲
687	Aluminum Brass	77	21			Al-2	熱交換器、冷凝管、蒸餾管
521	Phosphor Bronze B	92			8	P-0.25	彈簧
614	Aluminum Bronze D	91				Al-7 Fe-2	海洋用板、貯槽、螺絲，冷凝器
655	High Silicon Bronze A	94	1		0.5	Si-3 Mn-1 Fe-0.5	無縫管、熱交換器、快速接頭
706	90-10 Cupro-Nickel	88			10		鹽水管、熱交換管、冷凝管板、蒸發管
710	80-20 Cupro-Nickel	78			20		
715	70-30 Cupro-Nickel	69			30		
905	Tin Broze Casting	88	2	10			泵葉片、本體、閥、接頭
836	Leaded Red Brass Casting	85	5	5		Pb-5	管零件、水管零件

表 8 鈦及鈦合金之用途⁽²⁾

ASTM B-265 (Grade)	碳 (maximum)	鐵 (maximum)	鋁 氧 氮 鈦 (wt%)					最小拉 伸強度 (KSI)	用 途
			鋁	氧	氮	鈦			
2	0.10	0.30				0.03		50	耐蝕性佳
3	0.10	0.30				0.05		65	焊接性佳，易成型 彈度/重量比佳
5	0.20	0.40	6		4			130	海洋用件
7	0.10	0.30		0.25		0.03	0.12 to 0.15	50 50	航空零件、管件、 熱交換器，抗氯離 子應力腐蝕

(5)鈦及鈦合金

表 8 為常用之鈦及鈦合金，這些合金均有一層很好的氧化保護層，耐氧化性環境之侵蝕，類似沃斯田鐵不銹鋼，其強度/重量比很高，焊接容易，但必須避開氧及氮的氣氛，使用溫度不得超過315°C，鈦合金在海水中有很好的耐孔蝕及耐應力腐蝕性質，但易發生間隙腐蝕，另外在還原性酸（例如硫酸、鹽酸）和氫氟酸中之耐蝕性低；對硝酸、氧化性鹽（例如氯化鐵、氯化銅）、濕氯氣有很好的耐蝕性；但含高 NO₂ 及低水份紅色發煙硝酸對鈦有強侵蝕性。

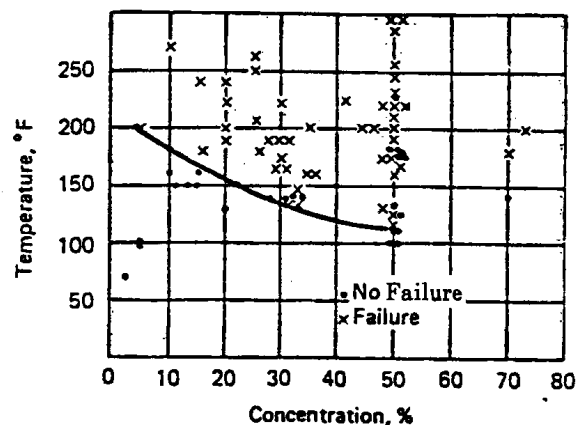
2. 化學環境中耐蝕性比較

(1)強鹼環境

強鹼不會對鐵基及鎳基合金產生均勻腐蝕，但會產生應力腐蝕如表 9 所示。在無鐵離子污染下，碳鋼可耐較低溫（約93°C以下）之50%以下的 NaOH，KOH 溶液的浸蝕，但在高溫下會造成碳鋼、304/316不銹鋼、Alloy 400 和 Alloy 600 之應力腐蝕，圖 3 即顯示了80個工業案例，有關焊接後之碳鋼在不同溫度和濃度中的適用範圍，圖 4 即顯示了碳鋼及鎳合金及其焊接處理後適用的範圍，對厚壁壓力容器應遵循 ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section III 的規定。在有鐵離子污染的鹼性溶液中，當溫度在 316°C 以下，鎳是唯一的選擇，（可用 Nickel 200）高於此溫度用 Nickel 201，但仍應避免汞及硫份的存在，否則易發生 SCC。鋁、鋅均不適用強鹼環境，304和316不銹鋼使用時應嚴格限制在93°C、50°C以下濃度，其適用範圍如圖 5 所示

表 9 易發生應力腐蝕之環境與合金

材 料	環 境
鋁 合 金	NaCl/H ₂ O 溶液，NaCl 海水、空氣、水蒸氣
碳 鋼	NaOH，硝酸、H ₂ SO ₄ /HNO ₃ ， HCN、酸性 H ₂ S，熔融鈉/鉛鹽
銅 合 金	氨氣及胺類、水、水蒸氣
金 合 金	FeCl ₃ ，醋酸/鹽溶液
Alloy 600	NaOH
鉛	醋酸鉛溶液
Alloy 600	熔融 NaOH、HCl、沸騰 NaOH、 氟矽酸
鎳	汞、硫
304/316不銹鋼	Cl ⁻ 、H ₂ S、NaOH
鈦 合 金	紅色發煙硝酸，海水、N ₂ O ₄ ， 甲醇/鹽酸

圖 3 碳鋼焊接後在 NaOH 中耐蝕性⁽¹⁾

。鈦可耐強鹼，常應用在濕氯氣之洗滌槽，應用在高溫下，Alloy 400 及 Alloy 600 應作應力消除熱處理。為避免鐵離子污染引起的腐蝕，非金屬常被應用在強鹼環境中作內襯，例如氯丁橡膠

，樹脂塗層，FRP 等。
(2)濃鹽環境

表10為常被使用於濃鹽環境的合金材料。氯離子易造成不銹鋼孔蝕及應力腐蝕，在不同溫度及氯離子濃度下之適用合金，如表11所示。一般而言，鎳含量高於45~50%以上對應力腐蝕具免疫性，如圖6所示。在酸性氯化鹽類中，例如氯化鋁、氯化鐵、氯化銨等均會造成碳鋼嚴重之腐蝕。304及316適用在鹼性鹽類，在氧化性酸鹽中，則易發生孔蝕，而在還原性酸鹽則為均勻腐蝕。氧化性酸鹽也會造成 Alloy B 及 Alloy 400 之腐蝕。另外在NaOCl環境中可選用鈦、鉬、Alloy C，但鎳，Alloy 400、304、316，碳鋼均不適用易發生孔蝕，而玻璃，塑膠材料亦可使用，例如PVC，CPVC但是焊點易受熱及應力循環作用而碎裂。

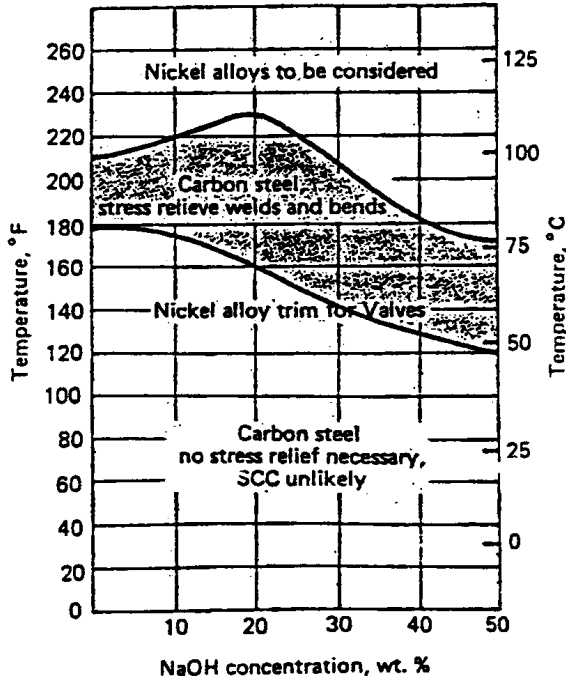


圖4 合金在 NaOH 中適用之範圍⁽¹⁾

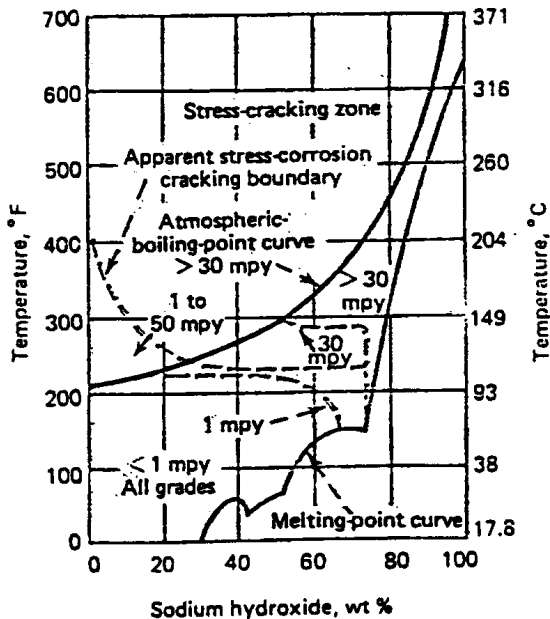


圖5 300系不銹鋼在 NaOH 中⁽¹⁾之等腐蝕曲線

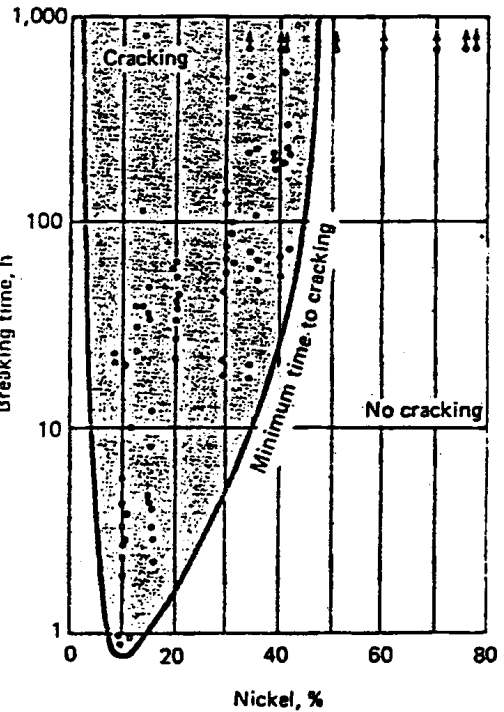


圖6 應力腐蝕破裂和鎳含量之關係⁽¹⁾

(3)強酸環境

常見在強酸環境下(硫酸、硝酸、鹽酸等)適用之合金如表12所示。材料的適用性和溶液的氧化性/還原性，氯離子濃度、酸濃度、溫度等均習習相關。

表10 不同合金在鹽類中腐蝕性比較⁽¹⁾

鹽類		腐蝕速率				
		碳鋼	304SS	316SS	Alloy 400 (65Ni-32Cu)	Nickel 200
非氧化性 ，非氯化物	鹼性 (PH > 10) , 碳酸鈉	L	L	L	L	L
	中性, 硫酸鈉	M	L-M; SCC	L-M	L	L
	中性, 硝酸鈉	L-M; SCC	L; pits	L; pits	L	L
	酸性, 硫酸鎳	S	L-M	L-M	M	M; pits
非氧化性 ，氯化物	中性, 氯化鈉	M; pits	M; SCC; pits	M; SCC; pits	M	M
	酸性, 氯化鋅	S	S; SCC; pits	S; SCC; pits	M	M
	酸性, 氯化氨	S	S; SCC; pits	M; SCC; pits	M	M-S
氧化性 ，非氯化物	中性, 鉻酸鈉	L*	L	L	L	L
	中性, 亞硝酸鈉	L*	L	L	L	L
	中性, 過錳酸鉀	M	M	M	M	M
	酸性, 硫酸鐵	S	L	L	S	-
氧化性 ，氯化物	酸性, 硝酸銀	S; SCC	M	M	S	S
	鹼性, 次氯酸鈉	S	S; pits	S; pits	M-S; pits	M-S; pits
	酸性, 氯化鐵	S; SCC	S; pits	S; pits	S	S
	酸性, 氯化銅	S	S; pits	S; pits	S	S
	酸性, 氯化汞	S	S; SCC; pits	S; SCC; pits	S; SCC	S

L：代表腐蝕速率小於 5MPY，溫度低於沸點之所有濃度

M：代表腐蝕速率小於 20MPY，低溫、低濃度

S：代表腐蝕嚴重，大於50MPY

SCC：應力腐蝕

pits：孔蝕

表11 各類金屬材料在不同氯離子濃度水中之穩定性⁽¹⁾

溫度	100°C	穩定	銅、銅-鎳 鎳-銅 304/316 不銹鋼	穩定	銅，銅-鎳，鎳-銅 Alloy 20 (33-46%Ni), Alloy C, alloy 625, 鈦合金	穩定	銅-鎳，鎳-銅 Alloy C, 鈦合金
		不穩定	碳鋼	不穩定	碳鋼，304/316不銹鋼 (SCC)	不穩定	碳鋼，銅 304/316不銹鋼 (SCC, 孔蝕) Alloy 20 (孔蝕、間隙腐蝕)
	60°C	穩定	表中所有金屬材料	穩定	碳鋼，銅，銅-鎳 鎳-銅，Alloy 20, 304/316 不銹鋼	穩定	碳鋼 (<50°C) 銅-鎳，鎳-銅，Alloy C, 鈦合金，Alloy 20 (高鉛)
		不穩定				不穩定	304/316不銹鋼 (孔蝕, SCC) Alloy 20, 銅 (對流速敏感)
	20°C	水溶液條件：PH=6.9 流速=2.8呎/秒 100ppm CaCO ₃ SCC：應力腐蝕					
	PPb	PPm 氯離子濃度		wt%			

表 12 強酸中材料之選用⁽¹⁾

酸	材 料	說 明	酸	材 料	說 明
醋酸	316L 不銹鋼	過多醋酸酐在冰醋酸中，將加速腐蝕，存在Cl ⁻ (ppm) 易生孔蝕，SCC	硝酸	304L 不銹鋼	有焊接時須用低碳硝酸溫度高於65.5°C的條件
	銅/銅合金	不適用高氧化性條件		高矽鑄鐵	如溫度高於71°C僅適用在濃度高於45%
	鋁合金	對不純物極敏感，100%及過多醋酸酐不適用，焊接力求乾淨		鋁 (3003, 5052)	適用超過95%，不適用低於85%，焊接須乾淨
蟻酸	304L 不銹鋼	僅適用常溫	發煙硫酸	碳鋼	不適用在100~101% H ₂ SO ₄
	銅及銅合金	不適用高氧化性條件包括通氣		304L 不銹鋼	價錢高於碳鋼
鹽酸	橡膠內襯	有機溶劑雜質不適用溫度使橡膠便化	磷酸	316L 不銹鋼	焊接必須使用低碳或穩定鋼，適用高達85%，溫度93°C的條件
	Alloy C	不適用熱的濃 HCl		Alloy 20	價格較貴
	Alloy B	不適用氧化性條件	硫酸	碳鋼	不適用70%以下，僅適用常溫，流速低於2~4ft/s
	鉛	不適用在 F ⁻ 雜質存在環境		Alloy 20	使用在65~75%時溫度不能太高
氫氟酸	Alloy 400	不適用氧化性條件	高矽鑄鐵	適用任何濃度	
	銅	僅適用65.5°C以下，氧化性不適用	Alloy C	適用60%以下	
	銅鎳	不適用氧化性條件			
	碳鋼	低於60~65%以下不適用，且應考慮雜質			

不銹鋼和鎳基合金適用於氧化性環境中，鈦則僅適用於稀酸溶液中，鋁不耐酸，但可用在95%以上之發煙硝酸中。銅離子和鐵離子或通空氣均有助於形成氧化性環境。鎳、Alloy B、Alloy 400、銅、銅鎳合金在強酸中不具鈍態性，僅適用於還原性環境，Alloy B 適內在稀硫酸中，因稀酸具還原性，而在鹽酸及氫氟酸環境中，氟及氯離子會破壞金屬鈍態性，造成304/316不銹鋼孔蝕及應力腐蝕，依據 Fontana 的報告，在含氯化鐵及氯化銅之強鹽酸中，金屬材料均不適用，玻璃及酸性耐火磚也不適用，此時可選用高矽的硫灰泥，另外，鈦、Alloy 400、Nickel 200 則適用於低濃度鹽酸環境中。

在硝酸環境中，常用之300系列不銹鋼，以304 L 最為經濟，其可使用至92%硝酸，高於此濃度可選用鋁合金 AA3003 或1100，AISI 430 亦可應用在含氯之硝酸環境，以取代沃斯田鐵系不銹鋼，唯焊接後必須施以熱處理；AISI 446 耐硝酸效果亦佳，但其焊接性極差；銅及銅合金不適用。在溫度高於沸點的硝酸中，鈦比沃斯田鐵不銹鋼更具耐腐蝕性。在鹽酸環境中，四類不銹鋼和鈦均不適用，但於強氧化劑存在時，鈦則仍具耐蝕性。在硫酸環境中，300系列不銹鋼應用在極低和極高濃度，但如有還原劑存在，保護膜可能會被破壞，316L 比 304L 更耐硫酸腐蝕，耐硫酸之合金選用可參考圖 7 和圖 8

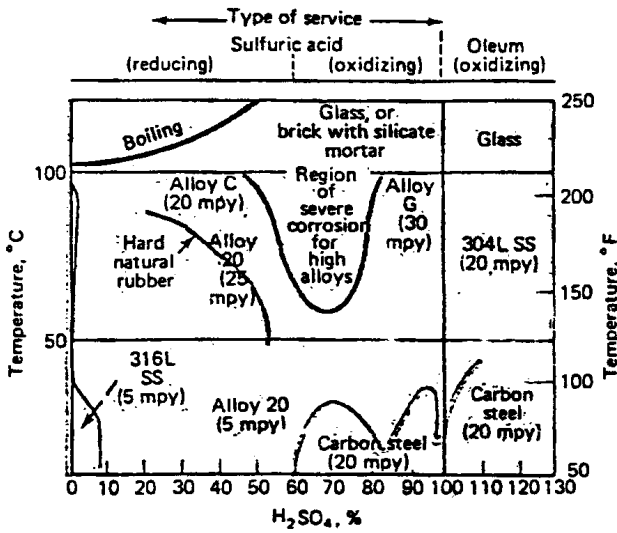


圖7 不同合金在硫酸中的耐蝕性⁽¹⁾

三、結 論

由以上討論可知化學工廠所用之材料的耐蝕性隨環境因子而變化，且有很大差異，因此材料選用之前的環境調查是一項重要工作，應力求詳細，尤其對於可能存在的雜質，局部性濃度和溫

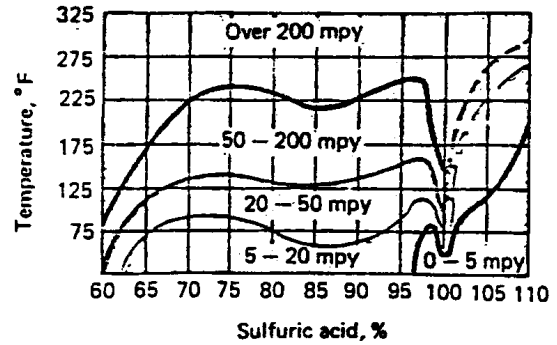


圖8 碳鋼在硫酸中之等腐蝕曲線⁽¹⁾

度差異，應特別加以分析，必要時應作模擬試驗的工作，方能選擇最適用之材料或採取最有效之防蝕措施。

參考資料

- (1) Gary N. Kirby, Chemical Engineering Engineering, November, 1980.
- (2) R. James Landrum, Fundamentals of Designing for Corrosion Control, NACE. page 217~261, 1989.
- (3) 工業材料研究所，鋼鐵材料選用及熱處理技術講習會，page 3-1~3.25, 民國79年3月。